

Desempenho térmico e energético de edifícios não-residenciais em clima subtropical: análise da eficiência energética e conforto térmico decorrente do uso de vidros duplos e vidros laminados

Universidade Federal de Santa Catarina - Centro Tecnológico
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

ARQ 1001 – Metodologia Científica Aplicada

Professora: Sônia Afonso

Mestranda: Cíntia Andreis

Professor Orientador: Prof. Dr. Fernando Simon Westphal

Data: 14 de dezembro de 2012.



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA



Comportamento Ambiental do Espaço Urbano e das Edificações

Roteiro do Trabalho

1

- Introdução

2

- Justificativa

3

- Problemática

4

- Hipóteses

5

- Objetivos

6

- Metodologia

7

- Resultados Esperados

8

- Cronograma

9

- Bibliografia

1. Introdução

- ❑ O investimento em **eficiência energética** gera **benefícios ambientais e econômicos**, diminuindo a necessidade de expansão do sistema distribuidor e até gerador de energia elétrica.
Para as empresas, além das questões ambientais, a eficiência energética geralmente está ligada à qualidade dos serviços e aumento na produtividade.
- ❑ **Investir em eficiência energética requer o conhecimento da economia proporcionada** pelas estratégias de otimização do consumo e eficiência adotadas.
- ❑ No Brasil, os estudos para o **dimensionamento do potencial de conservação de energia e da verificação da economia alcançada, com projetos de combate ao desperdício**, é ainda **incipiente**, sendo necessário desenvolver estudos relacionados especificamente às nossas condições climáticas, agindo de maneira racional, com respeito ao meio ambiente e incentivo à inovação tecnológica e eficiência energética.
O código de desempenho energético que mais cresceu a aceitação no Brasil nos últimos anos é a ASHRAE Standard 90.1-2007, norma referenciada pelo sistema de certificação LEED.

1. Introdução

Lam (Hong Kong, 2000) realizou simulações computacionais com o programa DOE-2 e verificou que **a carga de resfriamento devida aos ganhos de calor através das janelas de um edifício comercial representava quase 50% dos ganhos** através do envelope da edificação.

Buratti (Itália, 2012), afirma que o **tipo de vidro** e a **orientação geográfica** do edifício são determinantes no consumo energético final. Além disso, **vidros com baixa emissividade e controle de luminosidade tem grande impacto** na melhoria do desempenho energético das edificações.

Harris Poirazis (Suécia, 2008) realizou simulações quanto à demanda energética de edificações não-residenciais e concluiu que em **edifícios com grandes áreas envidraçadas na fachada, o consumo energético varia mais do que fachadas de edifícios tradicionais**, visto que os primeiros são particularmente sensíveis às condições externas.

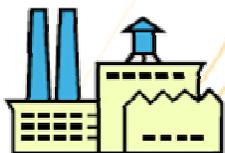
Além disso, **a forma, posição e localização, orientação geográfica e ocupação** são igualmente cruciais para o desempenho energético da edificação.

1. Introdução

Quem usou a energia no Brasil em 2011

indústrias

35,9%



transportes

30,1%



residências

9,5%



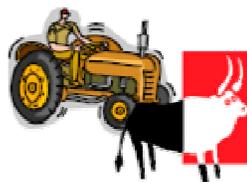
setor energético

8,9%



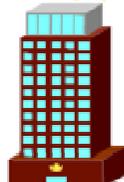
agropecuária

4,0%



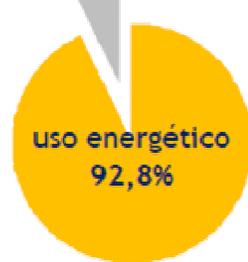
serviços

4,4%



uso não energético

7,2%



2011	246,4 Mtep
2010	240,4 Mtep
	2,5%

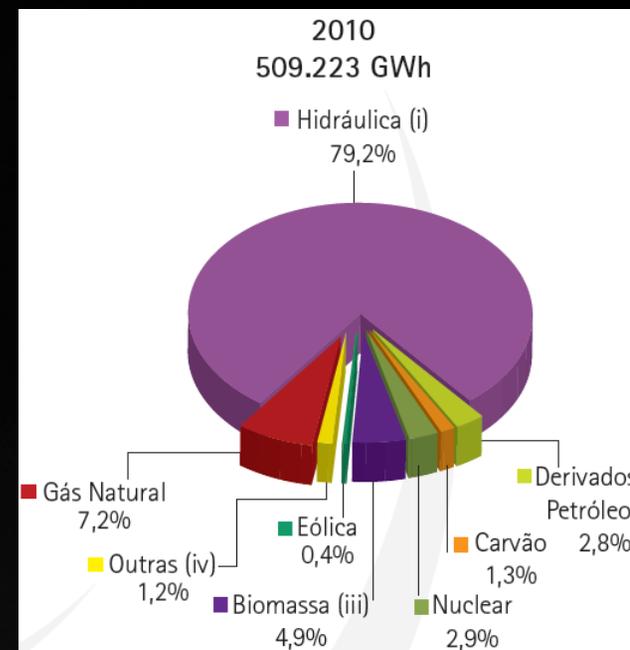
Produção industrial, transporte de carga e mobilidade das pessoas e famílias respondem por **66%** do consumo de energia do país

Empresa de Pesquisa Energética

BEN 2012 | Resultados Preliminares | ano base 2011

18

1.1. Energia



Geração de Energia Elétrica no Brasil em 2010

As emissões de CO₂ devido à geração de energia no Brasil, somente no setor residencial, atingiram 17,7 Mt (cerca de **8% do total**) só em 2011.

Fonte: Balanço energético Nacional 2011

Desempenho Energético de Vidros Duplos e de Vidros Laminados

05/2012

1. Introdução

Energia Elétrica Consumida por Classes - BR

Tabela 3.3 Consumo por classe - (GWh)

	2006	2007	2008	2009	2010	Δ% (2010/09)	Part. % (2010)
Brasil	355.179	377.000			415.277	8,1	100,0
Residencial	141.898	149.898			107.215	6,4	25,8
Industrial	174.300	174.300			179.470	10,9	43,2
Comercial	58.600	58.600			69.170	6,0	16,7
Trânsito	16.022	17.100			18.500	6,9	4,5
Edifício público	10.648	11.100			12.817	5,3	3,1
Edificação pública	10.975	11.083	11.429	11.782	12.051	2,3	2,9
Serviço público	12.164	12.441	12.853	12.898	13.589	5,4	3,3
Outro	1.987	2.158	2.270	2.319	2.456	5,9	0,6

Fonte: consumo cativo mais livre
Fonte: EPE

Fonte: Anuário Estatístico 2011, p. 69

1.1. Energia

Atualmente um dos grandes problemas mundiais é a disponibilidade limitada de energia, sendo que grande parte desta proveniente de **fontes não-renováveis**. É iminente a necessidade de se investir em fontes renováveis de energia, assim como de **otimizar o uso**, destacando-se as edificações, visto que **o setor residencial e comercial somaram em 2010 42,5% do consumo do total** de energia elétrica no Brasil.

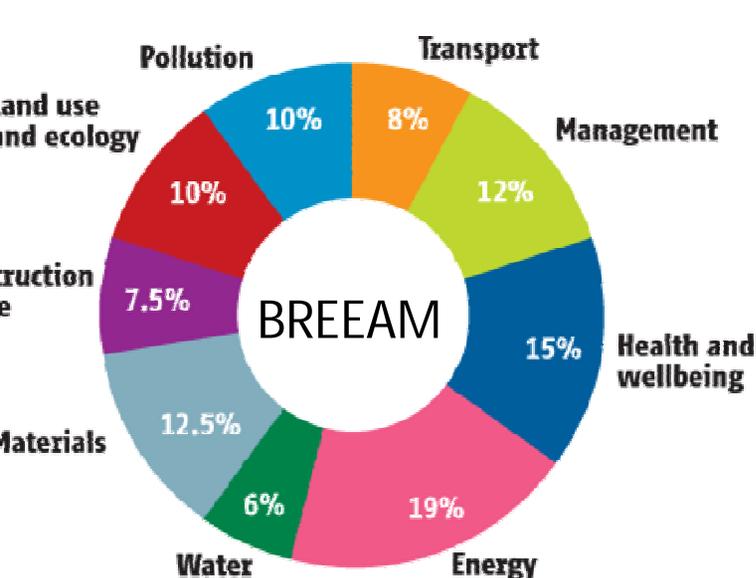
Fonte: Balanço energético Nacional 2010

1. Introdução

1.1. Energia

❑ Iniciativas para Eficiência Energética de Edificações

Devido à grande importância das edificações no consumo global de energia elétrica, algumas **políticas ambientais e públicas** já promovem incentivos às **práticas sustentáveis e eficiência energética**, bem como implementam regras mais rígidas para **reduzir os impactos sobre o meio ambiente**.



1. Introdução

1.1. Energia

□ Iniciativas para Eficiência Energética de Edificações

No âmbito das legislações, o Brasil teve sua primeira iniciativa para promover a eficiência energética em **2001**, devido à **crise energética: PROCEL EDIFICA**, que foi aprovado em caráter experimental em 2006. Possui seis vertentes, que são:

- arquitetura bioclimática
- indicadores referenciais para edificações
- certificação de materiais e equipamentos
- regulamentação e legislação
- remoção de barreiras à conservação da energia e
- educação

Hoje são **14 laboratórios no Brasil envolvidos com o processo, sendo 3 organismos de inspeção acreditados (OIA) e 11 multiplicadores (treinamento, capacitação de consultores, incubadora e pesquisa para melhoria do método.**

2. Justificativa

As principais variáveis que impactam a eficiência energética e conforto térmico das edificações são: **INSOLAÇÃO, CARGAS INTERNAS E MECANISMOS DE GANHO E PERDA DE CALOR**



2. Justificativa

O **vidro** é um dos grandes responsáveis pelo **ganho e perda de calor interno nas edificações**, mas ao mesmo tempo ele permite o contato visual com o meio externo e promove iluminação natural, o que diminui o gasto energético com iluminação artificial.

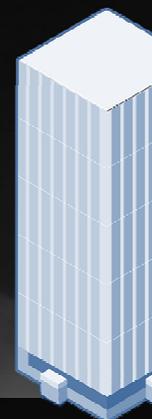
Desta maneira, é necessário estudar os **reais impactos do vidro no ganho de calor do edifício e determinar as opções de projeto mais adequadas para se produzir edificações com melhor desempenho térmico e energético** em cada clima específico, com o objetivo de:

- Otimizar o consumo de energia do sistema de ar condicionado
- Otimizar o consumo de energia do sistema de iluminação artificial
- Permitir a vista para o exterior
- Garantir o conforto dos usuários
- Gerar benefícios financeiros à empresa (economia de energia)
- Reduzir as emissões de carbono (menor consumo → menor necessidade de geração de energia)



Características Gerais de Edifícios Não-residenciais

- Grandes áreas envidraçadas nas fachadas (vista para exterior, iluminação natural, limpeza)
- Condicionados artificialmente



ma:

Desempenho térmico e energético de edifícios não-residenciais em clima subtropical: análise da eficiência energética e conforto térmico decorrente do uso de vidros duplos e vidros laminados

	Perguntas	Hipóteses	Objetivos	Metodologia	Resultados Esperados	Palavras-chave
Principal	A utilização de vidros duplos em fachadas envidraçadas de edifícios não-residenciais em clima subtropical promove efetivamente melhoria do conforto térmico e eficiência energética da edificação?	Considerando-se que a temperatura do ar externo em Florianópolis permanece abaixo dos 24 °C durante a maioria do ano (para o período de utilização de edifícios não-residenciais), a hipótese de pesquisa se baseia na avaliação do desempenho energético e térmico de vidros duplos, com o objetivo de verificar se os vidros duplos são uma opção efetivamente eficiente e promovem conforto térmico nestas condições.	Analisar o comportamento térmico e energético decorrente do uso de vidros duplos e vidros laminados em edifícios não-residenciais em clima subtropical para determinar as soluções mais adequadas para o desempenho energético e térmico da edificação.	Análise paramétrica de edificações não-residenciais em Florianópolis, por meio de simulação computacional com o programa Energy Plus de um edifício base referencial (baseline). Os parâmetros definidos são: área de janela, fator solar dos vidros, orientação geográfica e tipo de vidro (duplo com câmara de ar e laminado). A partir da simulação combinada destas variáveis com o software Energy Plus, os resultados obtidos serão analisados quanto ao desempenho térmico e energético, buscando a definição de critérios que proporcionem melhor desempenho destas edificações.	Espera-se mensurar o impacto da utilização de vidros duplos na eficiência energética e conforto térmico de edifícios não-residenciais em Florianópolis, além de avaliar a influência de outros parâmetros (fator solar, orientação geográfica, área de janela na fachada) combinados ao tipo de vidro utilizado.	
Secundários	Em quais climas brasileiros a utilização de vidros duplos promove melhor desempenho energético e conforto térmico?	Nos climas em que a temperatura do ar é alta em grande parte das horas do ano, a utilização de vidro duplo pode dificultar a entrada de calor no interior do edifício e diminuir a demanda energética com o sistema de condicionamento de ar.	Identificar os climas brasileiros em que o vidro duplo com câmara de ar possui melhor desempenho do que o vidro laminado.	Simulação dos modelos nas demais zonas bioclimáticas brasileiras e verificar os dados obtidos para determinar em quais climas específicos a utilização de vidros duplos com câmara de ar promove melhoria do desempenho energético e térmico da edificação.	Pretende-se determinar os climas brasileiros em que a utilização de vidros duplos promove efetiva melhoria do desempenho térmico e energético das edificações.	Eficiência Energética Clima subtropical Vidros duplos e laminados Conforto térmico
	Persianas internas contribuem para a diminuição da carga térmica interna da edificação?	Considerando-se que a radiação solar já ultrapassou o vidro quando sofre a interferência da persiana, a hipótese que se pretende verificar é a de que a carga de calor interna é amenizada mesmo quando utilizadas persianas internamente.	Avaliar o impacto do uso de persianas internas no desempenho térmico e energético da edificação.	Simulação de modelos previamente definidos através do programa Energy Plus e comparação com os resultados em que as persianas internas não foram utilizadas, determinando os reais impactos da utilização das mesmas no desempenho térmico e energético da edificação.	Pretende-se determinar os reais impactos decorrentes do uso de persianas no consumo final de energia do edifício.	
	Qual o fator solar equivalente decorrente do uso de diferentes elementos de sombreamento externo nas áreas envidraçadas do envelope da edificação?	O fator solar equivalente é uma análise do equilíbrio entre a incidência solar e o sombreamento nas janelas decorrente do uso de elementos externos de sombreamento (brises), assim como são classificados os fatores solares relativos a cada vidro específico.	Determinar o fator solar equivalente de elementos de sombreamento externos.	Simulação de modelos previamente definidos através do programa Energy Plus para determinação do FS equivalente proporcionado pelos elementos de sombreamento externos às áreas envidraçadas analisadas.	Pretende-se desenvolver uma ferramenta de cálculo dos fatores solares equivalentes de elementos de sombreamento externo nos planos envidraçados da fachada	
	A utilização de vidros duplos em edifícios não-residenciais em Florianópolis promove melhoria nos índices de conforto térmico dos usuários?	Mesmo dificultando a perda de calor interno, os vidros duplos com câmara de ar oferecem maior resistência à entrada de calor no ambiente interno, podendo provocar menor influência da radiação solar nas áreas próximas às fachadas, e consequentemente, promover maior conforto.	Avaliar o conforto térmico interno decorrente do vidro duplo.	Análise dos dados de PMV e PPD fornecidos pelo programa Energy Plus e também comparação entre os dados de Temperatura Média Radiante horária relativa à utilização de vidros laminados e de vidros duplos, para verificar os casos nos quais o conforto dos usuários nas áreas mais próximas à fachada é mais prejudicado.	Determinar os índices de conforto térmico de edificações que utilizam vidros duplos com câmara de ar em Florianópolis.	

3. Problemática



Hipóteses

Objetivos

Metodologia

Resultados
Esperados

Palavras-chave

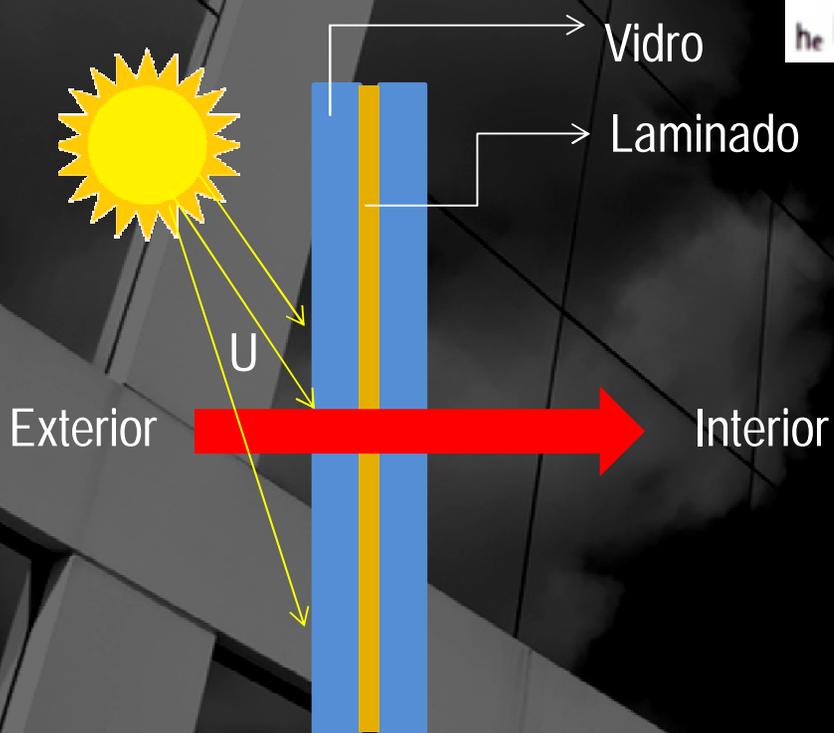
A utilização de **vidros duplos** em fachadas envidraçadas de **edificações não-residenciais** em **clima subtropical** promove efetivamente melhoria do **conforto térmico** e **eficiência energética** da edificação?

4. Hipótese

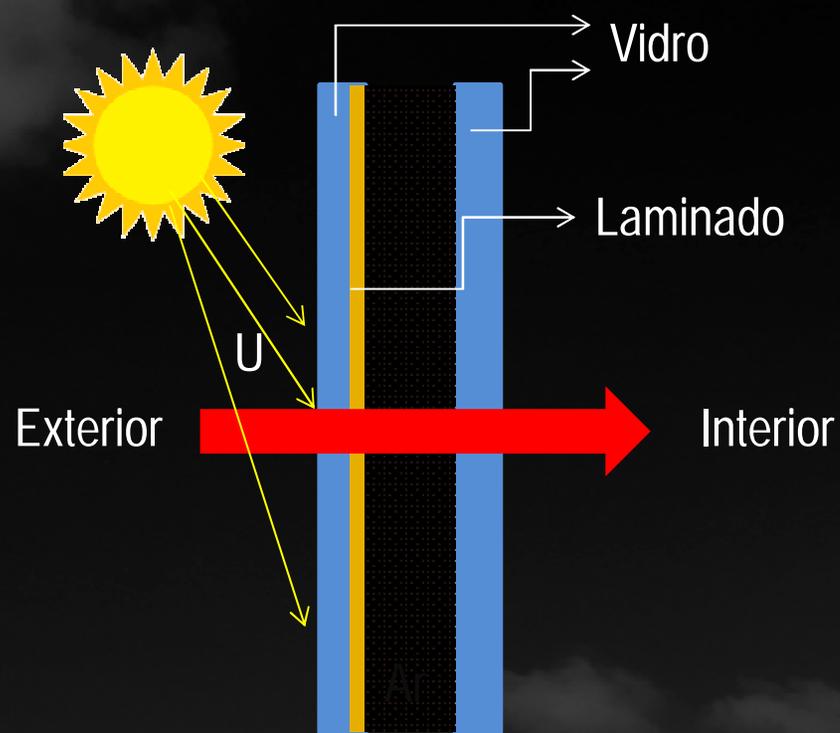
Perguntas	Objetivos	Metodologia	Resultados Esperados	Palavras-chave
-----------	------------------	-------------	----------------------	----------------

4.1. Conceito de Transmitância Térmica (U)

Vidro Laminado: U maior
Menor Resistência Térmica – ganha e perde calor para o meio com mais facilidade

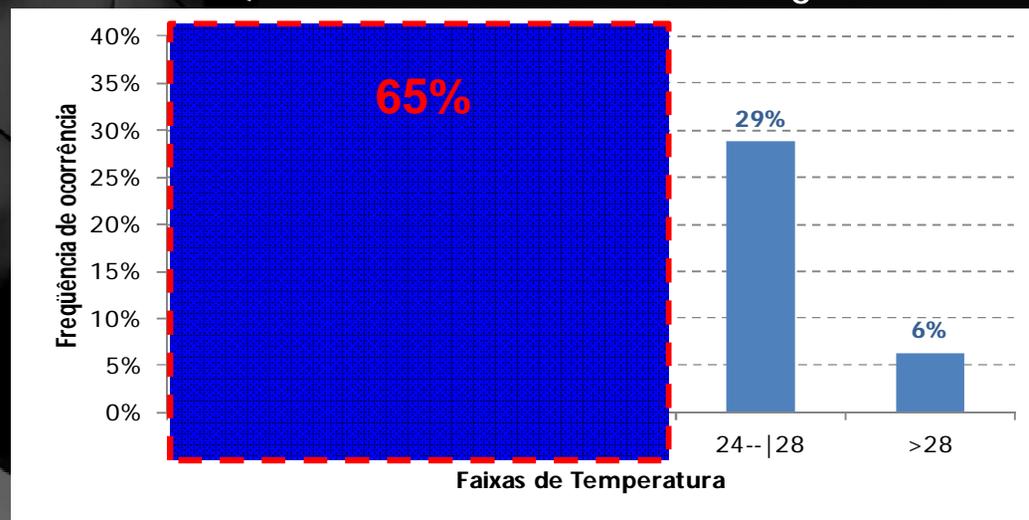


Vidros Duplos: U menor
Maior Resistência Térmica – ganha e perde calor com menos facilidade



4. Hipótese

- Este estudo se baseia na hipótese de que, no caso de Florianópolis, a utilização de vidros duplos dificulta a perda de calor interno para o meio externo, consumindo mais energia para fazê-lo através do condicionamento de ar.
- Isso pode ocorrer devido às cargas internas nas edificações (equipamentos, iluminação, pessoas), que eleva a temperatura interna e, em Florianópolis, a temperatura externa durante grande parte do ano permanece abaixo dos 25°C (temperatura de conforto). Desta forma, a transferência de calor se daria do interior para o exterior do edifício → como os vidros duplos oferecem maior resistência a esta troca de calor, o vidro laminado simples pode facilitar a perda de calor interno (resistência térmica menor) e diminuir a demanda energética do sistema de condicionamento de ar.



Frequência de T_{ext} das 8 às 20h
Fonte: Westphal, 2004
Arquivo Climático Fp

4. Hipótese

Perguntas		Objetivos	Metodologia	Resultados Esperados	Palavras-chave
-----------	--	-----------	-------------	----------------------	----------------

Secundários

Perguntas	Hipóteses
Em quais climas brasileiros a utilização de vidros duplos promove melhor desempenho energético e conforto térmico?	Nos climas em que a temperatura do ar é alta em grande parte das horas do ano, a utilização de vidro duplo pode dificultar a entrada de calor no interior do edifício e diminuir a demanda energética com o sistema de condicionamento de ar.
Persianas internas contribuem para a diminuição da carga térmica interna da edificação?	Considerando-se que a radiação solar já ultrapassou o vidro quando sofre interferência da persiana, a hipótese que se pretende verificar é a de que a carga de calor interna é amenizada mesmo quando utilizadas persianas internamente.
Qual o fator solar equivalente decorrente do uso de diferentes elementos de sombreamento externo nas áreas envidraçadas do envelope da edificação?	O fator solar equivalente é uma análise do equilíbrio entre a incidência solar e o sombreamento nas janelas decorrente do uso de elementos externos de sombreamento (brises), assim como são classificados os fatores solares relativos a cada vidro específico.
A utilização de vidros duplos em edificações não-residenciais em Florianópolis promove melhoria nos índices de conforto térmico dos usuários?	Mesmo dificultando a perda de calor interno, os vidros duplos com câmara de ar oferecem maior resistência à entrada de calor no ambiente interno podendo provocar menor influência da radiação solar nas áreas próximas às fachadas, e conseqüentemente, promover maior conforto.

5. Objetivos

Perguntas

Hipóteses

Metodologia

Resultados
Esperados

Palavras-chave

5.1. Objetivo Geral

- ❑ Analisar o comportamento térmico e energético decorrente do uso de vidros duplos e vidros laminados em edificações não-residenciais em clima subtropical para determinar as soluções mais adequadas para o desempenho energético e térmico da edificação.

5.2. Objetivos Específicos

- ❑ Identificar os climas brasileiros em que o vidro duplo com câmara de ar possui melhor desempenho do que o vidro laminado.
- ❑ Avaliar o impacto do uso de persianas internas no desempenho energético da edificação.
- ❑ Determinar o fator solar equivalente de elementos de sombreamento externos.
- ❑ Avaliar o conforto térmico interno decorrente do vidro duplo.

6. Metodologia

Perguntas

Hipóteses

Objetivos

Resultados
Esperados

Palavras-chave

- ❑ Análise paramétrica de edificações não-residenciais em Florianópolis, por meio de simulação computacional com o programa **Energy Plus** de um edifício base referencial. Os **parâmetros** definidos são: **área de janela, fator solar dos vidros, orientação geográfica e tipo de vidro** (duplo com câmara de ar e laminado).
A partir da simulação combinada destas variáveis, os resultados obtidos serão analisados quanto ao **desempenho térmico e energético**, buscando a definição de **critérios que proporcionem melhor desempenho destas edificações**.
- **Simulação dos modelos nas demais zonas bioclimáticas brasileiras** e verificar os dados obtidos para determinar em quais climas específicos a utilização de vidros duplos com câmara de ar promove melhoria do desempenho energético e térmico da edificação.
- Análise dos dados de **conforto térmico dos usuários** fornecidos pelo programa Energy Plus e também comparação entre os dados de Temperatura Média Radiante horária relativa à utilização de vidros laminados e de vidros duplos, para verificar os casos nos quais o conforto dos usuários nas áreas mais próximas à fachada é mais prejudicado.

6. Metodologia

Perguntas

Hipóteses

Objetivos

Resultados
Esperados

Palavras-chave

6.1. Programa de Simulação

- ❑ O Energy Plus é um **programa de simulação termoenergética**.
- ❑ A modelagem pode ser feita por meio de um *plugin* para o *Sketchup 3D*, o *OpenStudio*.
- ❑ **Componentes da edificação** que podem ser modelados: como as variáveis de aquecimento, resfriamento, iluminação, ventilação e fluxo de energia.
- ❑ Principais **dados de entrada**: geometria e características dos materiais da edificação, arquivo climático, ganhos de calor interno da edificação, infiltrações de ar e área de ventilação.
- ❑ **Cálculos**: através do balanço de calor, o programa calcula as cargas térmicas da edificação, que entram no balanço entre temperatura interna e externa superficial e o calor transmitido por condução através da envoltória da edificação.
- ❑ O Energy Plus **estima o consumo de energia** decorrente das trocas térmicas da edificação com o meio externo.



EnergyPlus

6.2. Parâmetros Analisados

- Percentual de área envidraçada na fachada
- Tipo de Vidro
- Fator Solar dos Vidros e Fator Solar Equivalente de Elementos de Sombreamento Externo
- Cargas Internas da Edificação
- Tipos de Parede
- Orientação Solar
- Geometria: forma, altura e posição do núcleo de circulação.

7. Resultados Esperados

Perguntas

Hipóteses

Objetivos

Metodologia

- ❑ Espera-se mensurar o **impacto da utilização de vidros duplos na eficiência energética e conforto térmico de edifícios** não-residenciais em Florianópolis, além de avaliar a influência de outros parâmetros (fator solar, orientação geográfica, área de janela na fachada) combinados ao tipo de vidro utilizado.
- Pretende-se determinar os **climas brasileiros** em que a utilização de vidros duplos promove **efetiva melhoria do desempenho térmico e energético** das edificações.
- Pretende-se determinar os reais **impactos decorrentes do uso de persianas** no consumo final de energia do edifício.
- Pretende-se desenvolver uma **ferramenta de cálculo dos fatores solares equivalentes de elementos de sombreamento externo** nos planos envidraçados da fachada.
- Determinar os índices de **conforto térmico** de edificações que utilizam **vidros duplos** com câmara de ar em Florianópolis.

Palavras-chave

- Eficiência Energética
- Clima subtropical
- Vidros duplos
- Conforto térmico

8. Cronograma

Atividades	2012						2013										2014							
	J	J	A	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	
Disciplinas Pós-Arq	■	■	■	■	■	■			■	■	■													
Revisão da Literatura							■	■	■	■	■													
Formulações									■	■	■	■												
Análise de Dados											■	■	■											
Qualificação														■										
Defesa da Dissertação														■	■	■	■	■						
Revisão da Dissertação																		■	■	■				
Entrega da Dissertação																				■				
Defesa da Dissertação																					■	■		
Correções Finais																					■	■		
	■	Atividades já realizadas					■	Atividades previstas					■	Datas importantes										

9. Bibliografia

❑ Livros e outras publicações

- GRAF, Helena F.; TAVARES, Sergio F. **Energia incorporada dos materiais de uma edificação padrão brasileira residencial**, [2010?]
- **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2011**, Ministério de Minas e Energia e EPE. Rio de Janeiro, 2011. <http://www.epe.gov.br>
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Ilustrações de Luciano Dutra. São Paulo: Ed. PW Editores, 1997.

❑ Artigos

- GHISI, Eneidir; TINKER, John A.; IBRAHIM, Siti Halipah. **Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional**. Porto Alegre: Publicado em Ambiente Construído, v. 5, n.4 , p. 81-93 (2005).
- POIRAZIS, Harris; BLOMSTERBERG, Ake; WALL, Maria. **Energy simulations for glazed office buildings in Sweden**. Suécia: Publicado em Energy and Buildings 40 (2008). doi:10.1016/j.enbuild.2007.10.011
- PAL, Sujoy, ROY, Biswanath, NEOGI, Subhasis. **Heat transfer modelling on windows and glazing under the exposure of solar radiation**. Índia: Publicado em Energy and Buildings (2009). doi:10.1016/j.enbuild.2009.01.003
- BURATTI, C.; MORETTI, E.; BELLONI, F.; COTANA, F. **Unsteady simulation of energy performance and thermal comfort in non-residential buildings**. Itália: Publicado em Building and Environment (2012). <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.09.015>
- NOH-PAT, F.; XAMÁN, J.; ÁLVAREZ, G.; CHÁVEZ, Y.; ARCE, J. **Thermal analysis for a double glazing unit with and without a solar control film (SnS-CuxS) for using in hot climates**. México: Publicado em Energy and Buildings (2010). doi:10.1016/j.enbuild.2010.11.015

❑ Sites

<http://maisecoeducacao.blogspot.com.br/2012/01/o-vidro-e-seu-ciclo-de-vida.html>

<http://portal.celesc.com.br>



OBRIGADA!!!

Desempenho Energético de **Vidros Duplos** e de **Vidros Laminados**